

VARIABILIDADE E TENDENCIAS INTERANUAIS NO FITOPLANCTO MARIÑO DAS COSTAS DE GALICIA

M. Varela^{1*}, A. Bode¹, F. Gómez Figueiras², M. Huete-Ortega³ e E. Marañón³

¹ Instituto Español de Oceanografía
Centro Oceanográfico da Coruña
Apdo. 130. 15080 A Coruña.

² Instituto de Investigacións Mariñas de Vigo. CSIC
Eduardo Cabello, 6. Vigo.

³ Universidade de Vigo. Campus Lagoas-Marcosende. Vigo.

* Correo_e: manuel.varela@co.ieo.es

RESUMO

Co obxecto de coñecer a variabilidade espacial e as tendencias interanuais do fitoplancto galego, estudáronse as series de datos históricos dispoñibles para Galicia, abarcando desde a zona oceánica ata as zonas máis costeiras das rías e a plataforma continental. En xeral, observouse unha diminución significativa das diatomeas, especialmente na zona oceánica. Tamén hai indicios dun incremento, aínda que non significativo, dos dinoflaxelados. O descenso das diatomeas foi debido á caída das abundancias de especies propias de floracións, tanto primaverais como estivais asociadas ao afloramento. Así mesmo, aumentaron as especies de diatomeas propias de afloramentos febles ou estratificación. Malia que non todas as tendencias foron significativas, os resultados son coherentes cunha diminución da intensidade do afloramento nos últimos 40 anos e un cambio nas condicións climáticas desde a década de 1980. Os resultados indican que os efectos dos cambios climáticos sobre o fitoplancto se poden manifestar con varios anos de retardo. Con todo, a alta variabilidade oceanográfica da zona, especialmente de alta frecuencia, e mais a falta de continuidade de moitas series de datos dificultan o establecemento de relacións claras entre cambios ambientais e o fitoplancto.

SUMMARY

The available information on phytoplankton biomass and species composition in Galician waters was studied to find out their spatial variability as well as the annual trends. The areas covered included the oceanic zone, the shelf and the inner part of the Rías. In general a significant drop in diatoms was observed. The series also indicated an increase in dinoflagellates, although it was not statistically significant. The diatom species related to blooms in the area declined, whereas those indicative of weak upwelling or stratification showed an increase. Even though not all trends were significant, the available data are consistent with the decrease in upwelling intensity over the last 40 years. The results also suggest that effects of climate changes on phytoplankton may be delayed for several years. In any case, the large oceanographic variability of the region, along with the lack of continuity of some of the series, makes it difficult to find clear relationships between environmental changes and phytoplankton.

INTRODUCCIÓN

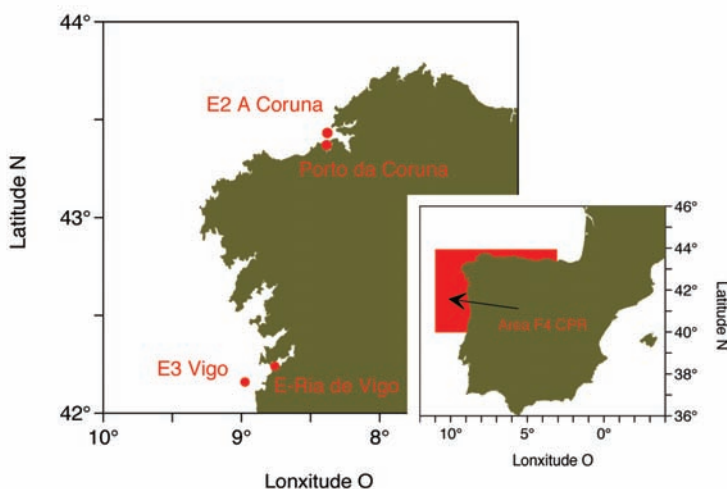
O ciclo oceanográfico nas costas galegas é o propio dos mares tépedos, e caracterízase pola existencia dunha mestura vertical das augas no inverno, seguida dunha estratificación no verán (Figueiras e Niell, 1987; Varela e cols., 2001), con floracións fitoplanctónicas nas fases de transición mestura-estratificación (floración da primavera) e estratificación-mestura (floración do outono). Este ciclo típico dunha zona tépeda en Galicia rompe no verán pola emerxencia de augas frías profundas ricas en

nutrientes (aflorentos, Fraga, 1981), que favorecen o desenvolvemento de floracións estivais de fitoplancto (Bode e cols., 2007). Polo tanto, desde a primavera ata o outono a produción é alta, grazas á existencia destas augas de orixe atlántica (ACNA, Auga Central Nort-Atlántica).

Aínda que o fitoplancto mariño está constituído por especies que pertencen a practicamente todas as categorías taxonómicas (Graham e Wilcox 2000), diatomeas e dinoflaxelados son os grupos máis representativos da biomasa do fitoplancto nas costas galegas (Figueiras e Niell, 1987; Casas e cols., 1997; Varela e cols., 2005). Por outra banda, estes grupos teñen un certo carácter indicador de condicións oceanográficas opostas. Mentres os dinoflaxelados presentan abundancias relativas máis elevadas nas épocas de estratificación térmica (augas quentes e pobres en nutrientes), as diatomeas son claramente dominantes nas situacións de floración, tanto de primavera como nos aflorentos estivais, e nas floracións de outono, todas elas ligadas a augas frías e ricas en nutrientes (Casas e cols., 1997). É dicir, ambos os dous grupos son indicadores de situacións ambientais ben diferentes e serven de referencia para detectar posibles cambios nas condicións dos océanos.

O obxectivo do estudo é determinar os patróns de variabilidade tanto espacial como temporal do fitoplancto, especialmente a baixas frecuencias, e as tendencias interanuais en relación coa variabilidade oceanográfica e climática.

Figura 1. Localización dos puntos de mostraxe das series temporais de datos de fitoplancto.

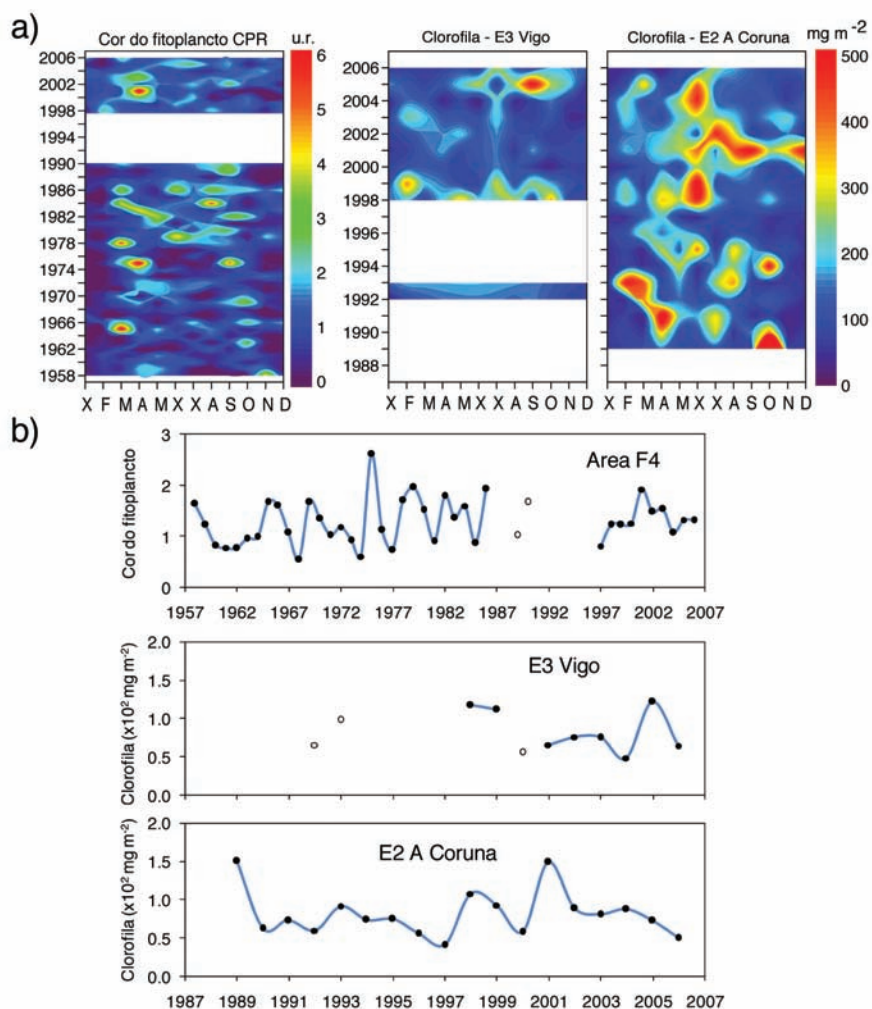


MÉTODOS

As series temporais empregadas neste estudo comprenden tanto as observacións do fitoplancto no océano como na costa, diferenciando entre a plataforma continental e a zona máis interna, dentro das rías (figura 1). No primeiro caso utilizáronse os datos da serie correspondente á área F4 do *continuous plankton recorder* (CPR), incluíndo datos mensuais de biomasa (estimada como cor do fitoplancto) e abundancia de especies no período 1958-2006. As características das variables do CPR e a súa metodoloxía analítica detállanse en Richardson e cols. (2006). Para a zona costeira da plataforma analizáronse os datos mensuais de biomasa (estimada como concentración de clorofila) e abundancia de especies nas estacións E3 fronte á ría de Vigo (neste caso só hai dispoñibles datos de clorofila) e E2 fronte á ría da Coruña no período 1989-2006. Esas estacións pertencen ao programa RADIALES do Instituto Español de Oceanografía (Valdés e cols., 2007). Co obxecti-

vo de analizar os cambios no tamaño das especies dominantes, calculáronse as relacións entre o tamaño celular (valor medio para cada especie) e a abundancia de especies (espectro de tamaño-abundancia). Estas relacións exprésanse mediante a pendente da liña de regresión entre tamaño e o logaritmo da abundancia celular para cada data de mostraxe (Cermeño e cols., 2005). Aínda que todos os valores da pendente do espectro de tamaños resultan ser de signo negativo, os maiores valores absolutos indican a dominancia relativa de especies de tamaño pequeno (e á inversa, os menores valores absolutos indican a dominancia de especies de tamaño grande) na comunidade de fitoplancto. Finalmente, a variabilidade do fitoplancto no interior das rías analizouse mediante a serie de medidas da clorofila con frecuencia bisemanal (mediada quincenalmente) nunha estación da ría de Vigo para o período 1987-1995 (Nogueira e cols., 1997) e noutra estación no porto da Coruña con frecuencia diaria (mediada semanalmente) para o período 1996-2006.

Figura 2. Variabilidade da concentración de fitoplancto no océano e na costa a escala estacional (a) e nos valores medios anuais (b). Nas estacións costeiras a clorofila exprésase como integral na columna de auga (ata os 50 m de profundidade en Vigo e ata 70 m na Coruña). As áreas en branco indican períodos sen datos. A significación das tendencias dáse na táboa 1. Os puntos baleiros indican valores medios obtidos a partir de menos de oito valores mensuais e que non foron empregados no cómputo das tendencias.



As variables do fitoplancto foron correlacionadas co índice de afloramento para o punto 43° N, 11° O (Lavin e cols., 1991) e mais co índice climático NAO (Hurrell, 1995). O período mediado foi abril-setembro, no caso do índice de afloramento, e decembro-marzo, no caso do índice NAO. O cálculo destes índices descríbese no capítulo 13. Previamente á análise de correlación, a variabilidade das series foi descomposta secuencialmente en tendencia, compoñentes periódicos e máis autocorrelacións (Nogueira e cols., 1997), de xeito que só a variabilidade residual de cada serie (ruído branco) foi finalmente correlacionada cos índices ambientais tratados da mesma maneira. Para asegurar a continuidade das series, consideráronse separadamente os períodos con datos válidos en todos os anos. Ningunha das series presentou compoñentes periódicos significativos e só o índice NAO presentou autocorrelación (cun desfase de 5 anos). As análises estatísticas fixéronse co programa MATLAB (*Component Run Time* versión 7.7).

RESULTADOS E DISCUSIÓN

As zonas estudadas permiten abordar a posible variabilidade espacial dos patróns de fitoplancto entre as diferentes zonas da costa galega (figura 1). As costas norte e sur de Galicia presentan diferenzas determinadas pola intensidade do afloramento (Bode e cols., 1996), máis intenso no sur. Doutra banda, a zona costeira está máis afectada por achegas continentais (Varela e cols., 2005) e a plataforma continental máis influenciada polo afloramento (Varela e cols., 2001). Finalmente, na zona oceánica, ten escasa influencia este último e os fenómenos de mestura vertical no inverno constitúen a fonte primordial de nutrientes (Prego e cols., 1999).

Variabilidade espacial e tendencias da biomasa do fitoplancto

Tanto a cor do fitoplancto do CPR como os datos de clorofila na plataforma de Vigo e A Coruña amosan claramente as floracións primaverais. Non obstante, a influencia do afloramento estival é só evidente nas zonas de plataforma, que presentaron claras floracións estivais (figura 2). Así mesmo, a variabilidade espacial entre as zonas norte e sur da plataforma galega resulta evidente. Os valores de clorofila son máis elevados na plataforma da Coruña, malia que, en xeral, os afloramentos son máis intensos no sur. Respecto á variabilidade interanual nas diferentes zonas, non se observan tendencias claras na clorofila en ningunha das series estudadas correspondentes á zona oceánica e á plataforma tanto en Vigo como na Coruña (figura 2). Os elevados valores de biomasa producidos nas proliferacións nas décadas de 1960 e 1970 xa non se atopan nos últimos anos; no entanto, nin as tendencias de toda a serie (táboa 1) nin as dos períodos 1958-1986 ou 1997-2006 resultaron significativas.

Na zona costeira (figura 3) vense ben as floracións estivais do afloramento, sendo máis claras, non obstante, as da primavera, en contraste coas zonas oceánicas e de plataforma. Obsérvase unha tendencia á diminución das concentracións de clorofila na ría de Vigo (figura 3a). Posiblemente isto é debido a que a serie é bastante curta. Cando se compara co mesmo período na plataforma da Coruña (figura 2b), vese unha tendencia semellante. Ata 1995 a clorofila na Coruña tamén parece baixar, pero logo repunta e a tendencia final de toda a serie non resulta significativa (táboa 1). Tampouco hai un patrón de variabilidade temporal claro nos datos de clorofila do porto da Coruña (figura 3b).

Os cambios na biomasa de fitoplancto causados polo clima non son doados de detectar, por unha banda debido á dificultade para fixar liñas de base ou de referencia e, por outra, polos efectos doutras alteracións externas (por exemplo, eutrofización antropoxénica). Isto evidénciase no caso



de Galicia pola falta de tendencias claras na biomasa, nin na costa nin no océano, nos últimos 40 anos. Tampouco outros estudos que estimaron a biomasa de fitoplancto en varias rexións do Atlántico a partir dos satélites atoparon variacións significativas nas proximidades de Galicia (Gregg e cols., 2005). Emporiso, noutras zonas máis ao norte detectáronse incrementos de biomasa de fitoplancto que foran relacionadas coa variabilidade da NAO (Leterme e cols., 2005).

Táboa 1. Variables analizadas e tendencias anuais nos valores medios. b: tendencia (pendente da regresión lineal); r^2 : coeficiente de determinación. P: significación. n: número de datos.

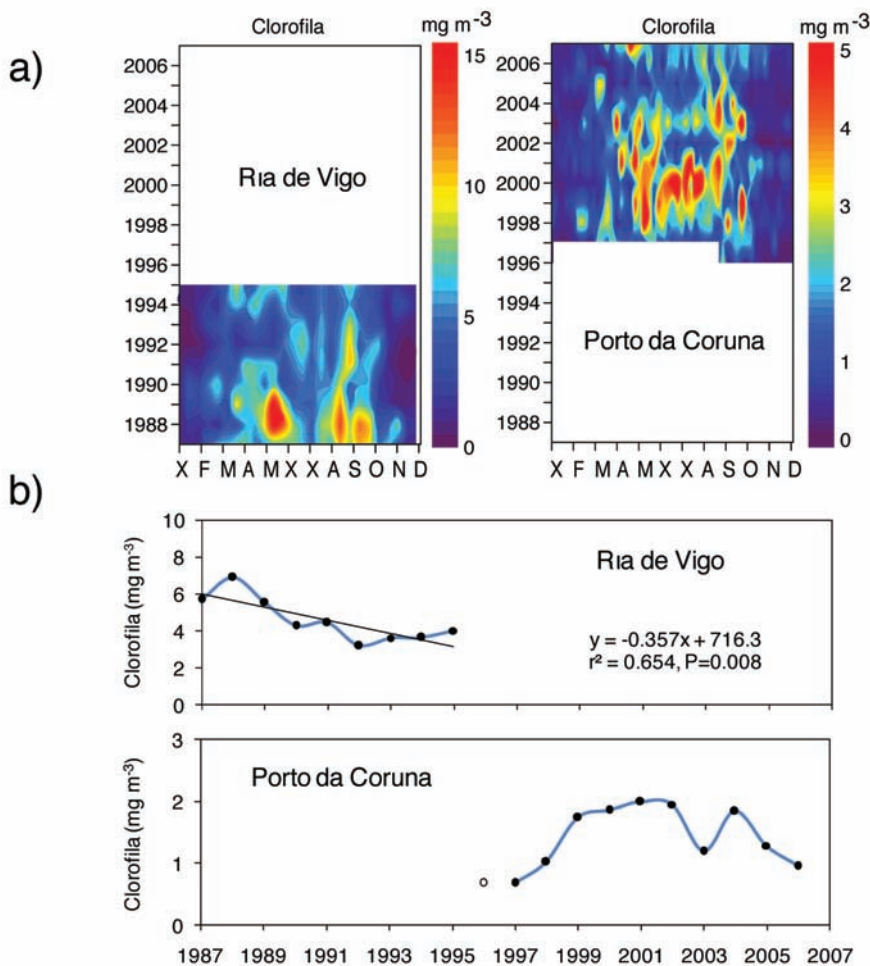
Variable	Abreviatura	Unidades	Zona	Período	b	r^2	P	n
Índice NAO	NAO	---	---	1958-2006	0.056	0.133	0.010	49
Índice de afloramento	UI	$\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-1}$	43° N, 11°W	1968-2006	-7.647	0.308	0.000	39
Cor do fitoplancto	PCI	---	F4	1958-2006	0.005	0.033	0.266	39
Clorofila	CLA	mg m^{-2}	E2	1989-2006	-1.110	0.010	0.697	18
Clorofila	CLA	mg m^{-2}	E3	1994-2006	-0.267	0.002	0.911	10
Diatomeas	DIAT	n m^{-3}	F4	1958-2006	-2096.290	0.163	0.011	39
Diatomeas	DIAT	$\text{n} \times 10^6 \text{m}^{-2}$	E2	1989-2005	-947.311	0.224	0.055	17
Dinoflaxelados	DINO	n m^{-3}	F4	1958-2006	195.787	0.018	0.421	39
Dinoflaxelados	DINO	$\text{n} \times 10^6 \text{m}^{-2}$	E2	1989-2005	78.599	0.155	0.118	17
<i>Chaetoceros</i> spp,	-	n m^{-3}	F4	1958-2006	-155.009	0.165	0.007	39
<i>Chaetoceros socialis</i>	-	$\text{n} \times 10^6 \text{m}^{-2}$	E2	1989-2005	-772.649	0.185	0.085	17
<i>Lauderia annulata</i>	-	n m^{-3}	F4	1958-2006	-13.410	0.136	0.015	39
<i>Lauderia annulata</i>	-	$\text{n} \times 10^6 \text{m}^{-2}$	E2	1989-2005	-13.514	0.365	0.010	17
<i>Leptocylindrus danicus</i>	-	n m^{-3}	F4	1958-2006	-0.757	0.007	0.589	39
<i>Leptocylindrus danicus</i>	-	$\text{n} \times 10^6 \text{m}^{-2}$	E2	1989-2005	-185.550	0.021	0.581	17
<i>Thalassionema nitzschoides</i>	-	n m^{-3}	F4	1958-2006	-128.009	0.113	0.028	39
<i>Thalassionema nitzschoides</i>	-	$\text{n} \times 10^6 \text{m}^{-2}$	E2	1989-2005	3.916	0.063	0.331	17
<i>Pseudonitzschia pungens</i>	-	$\text{n} \times 10^6 \text{m}^{-2}$	E2	1989-2005	-61.265	0.116	0.181	17
<i>Scripsiella</i> spp.	-	n m^{-3}	F4	1958-2006	6.588	0.308	0.000	39
<i>Scripsiella trochoidea</i>	-	$\text{n} \times 10^6 \text{m}^{-2}$	E2	1989-2005	-4.902	0.073	0.295	17
<i>Cachonina halli</i>	-	$\text{n} \times 10^6 \text{m}^{-2}$	E2	1989-2005	18.215	0.226	0.054	17
<i>Gyrodinium glaucum</i>	-	$\text{n} \times 10^6 \text{m}^{-2}$	E2	1989-2005	-0.100	0.007	0.756	17
Pendente espectro tamaños	-	---	E2	1991-2002	0.018	0.299	0.102	11

Variabilidade espacial e tendencias dos grupos e especies de fitoplancto

Tanto na plataforma como na zona oceánica as diatomeas son dominantes respecto aos dinoflaxelados, malia que estes presentan máximos relativos nos meses do verán cando se dan as condicións favorables á estratificación. A importancia relativa dos dinoflaxelados é maior no océano aberto que na costa debido a que nesta última a influencia dos afloramentos impide que se dean condicións claras

de estratificación durante o verán (Varela e cols., 2001) e, polo tanto, sempre se ven superados polas diatomeas. O contrario ocorre nas zonas costeiras tépedas non sometidas a afloramentos durante o verán, nas cales os dinoflaxelados dominan a comunidade fitoplanctónica (Holligan, 1987).

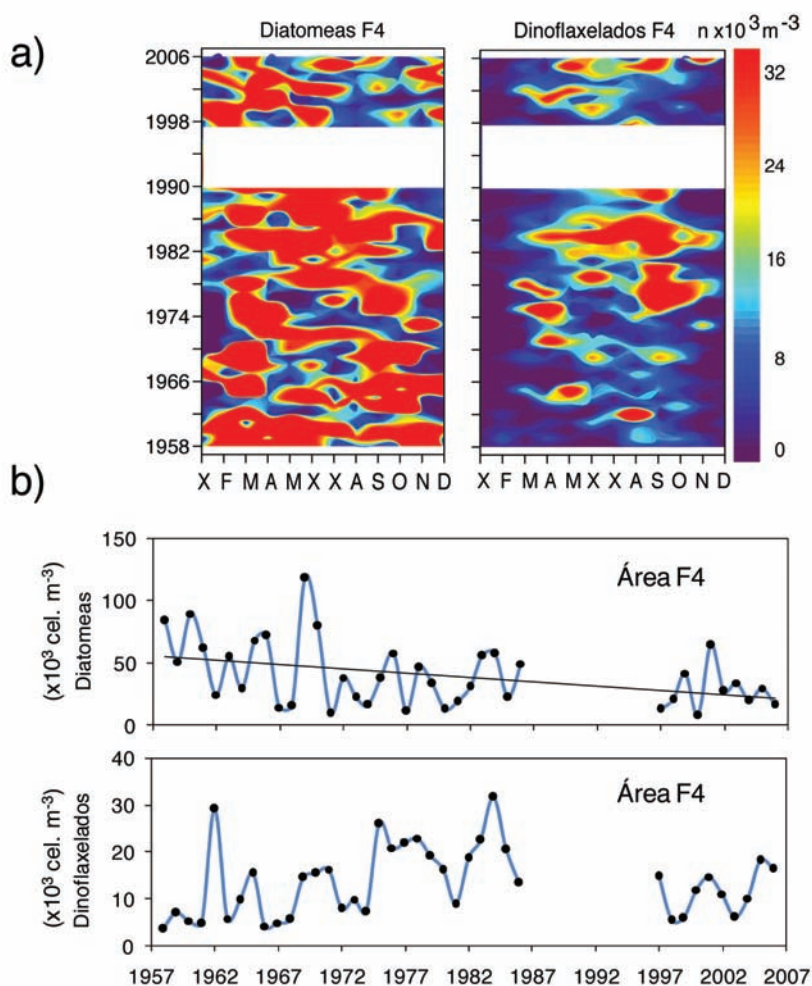
Figura 3. Variabilidade da concentración de clorofila no interior das rías de Vigo e A Coruña a escala estacional (a) e nos valores medios anuais (b). Só se dan os parámetros da regresión lineal significativa. Os puntos baleiros indican valores medios obtidos a partir de menos de oito valores mensuais e que non foron empregados no cómputo das tendencias.



No océano aberto (figura 4) e na plataforma continental (figura 5) pódese ver unha clara diminución das diatomeas durante o período de estudo e un incremento paralelo dos dinoflaxelados, aínda que este último non é significativo (táboa 1). A diminución das diatomeas (moi significativa no caso do océano e case significativa no caso da costa da Coruña) débese ao descenso nas abundancias das especies responsables das floracións, sobre todo ás do xénero *Chaetoceros*, aínda que a tendencia só é significativa no océano. No entanto, a diatomea *Lauderia annulata*, característica das floracións de primavera, presenta un descenso significativo tanto na costa como no océano (táboa 1).



Figura 4. Variabilidade das diatomeas e dinoflaxelados no océano a escala estacional (a) e nos valores medios anuais (b). A significación das tendencias dáse na táboa 1.

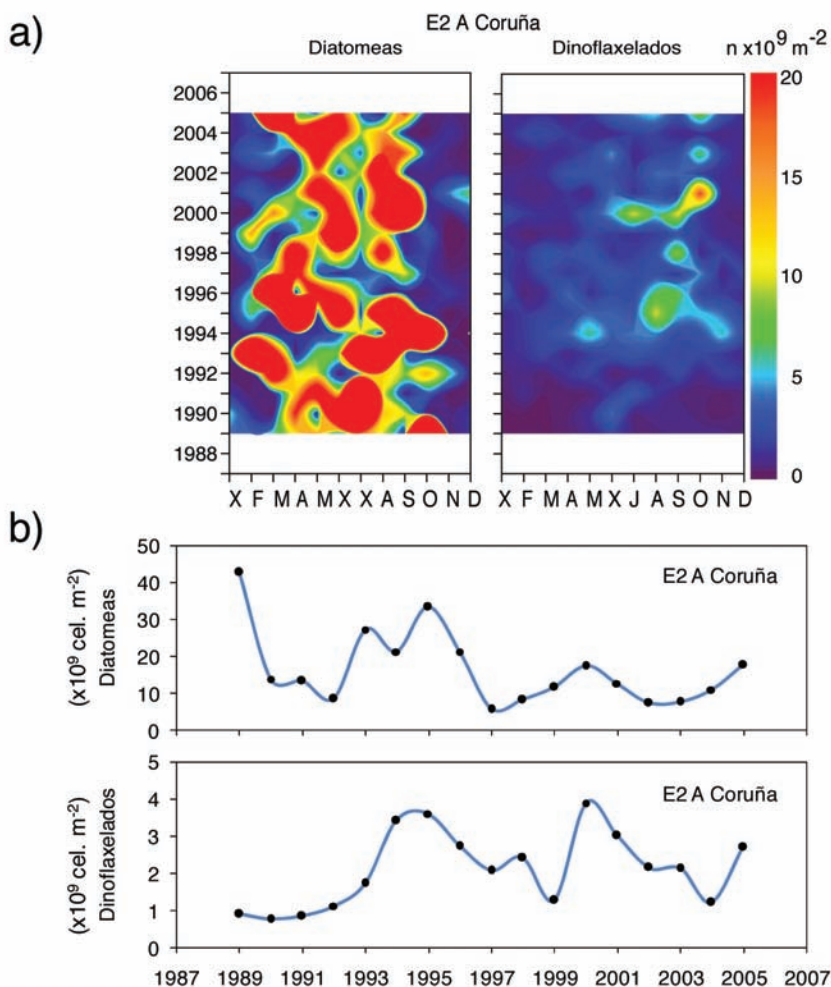


A maior parte das especies en ambas as dúas zonas non presentan tendencias claras (táboa 1), malia que case todas as diatomeas descenden e algúns dos dinoflaxelados máis abundantes aumentan. Considerando o conxunto de todos os datos de fitoplancto, vese que, en xeral, as especies de diatomeas asociadas a afloramentos diminúen e varias especies de dinoflaxelados relacionados coas situacións de estratificación aumentan, pese a que a tendencia para o conxunto dos dinoflaxelados non sexa significativa. Os cambios na composición do fitoplancto poden explicar o recente incremento nos períodos de peche das extraccións de mexillón por mor dos episodios de toxicidade causada por microalgas (capítulo 19). Deste xeito, o incremento do tempo de residencia da auga mariña no interior das rías como consecuencia da diminución no afloramento (capítulo 14) favorecería os dinoflaxelados, entre os cales están varias especies causantes de toxicidade.

O tamaño medio das especies de fitoplancto dominante, expresado pola pendente do espectro de tamaños-abundancia, variou tanto estacional como anualmente (figura 6). Durante as proliferacións da primavera, do verán e do outono os valores da pendente tenderon a ser menos negativos,

indicando a característica dominancia de fitoplancto de tamaño relativamente grande nestas situacións (Bode e cols., 1994). Así, pódese producir un incremento relativo do tamaño celular dentro da comunidade de diatomeas ao diminuír a abundancia de *Chaetoceros*, xénero constituído na plataforma galega por especies de pequeno tamaño. Nos anos 1995 e 1996 observáronse valores moi negativos da pendente en todas as épocas, o que se corresponde con máximos na abundancia de especies como *Chaetoceros*. Non obstante, considerando toda a serie de 10 anos, a tendencia non resultou significativa (figura 6b).

Figura 5. Variabilidade das diatomeas e dinoflaxelados na costa da Coruña a escala estacional ($\times 10^9$ cel. m^{-2} , a) e nos valores medios anuais ($\times 10^3$ cel. m^{-2} , b). A significación das tendencias interanuais dáse na táboa 1.



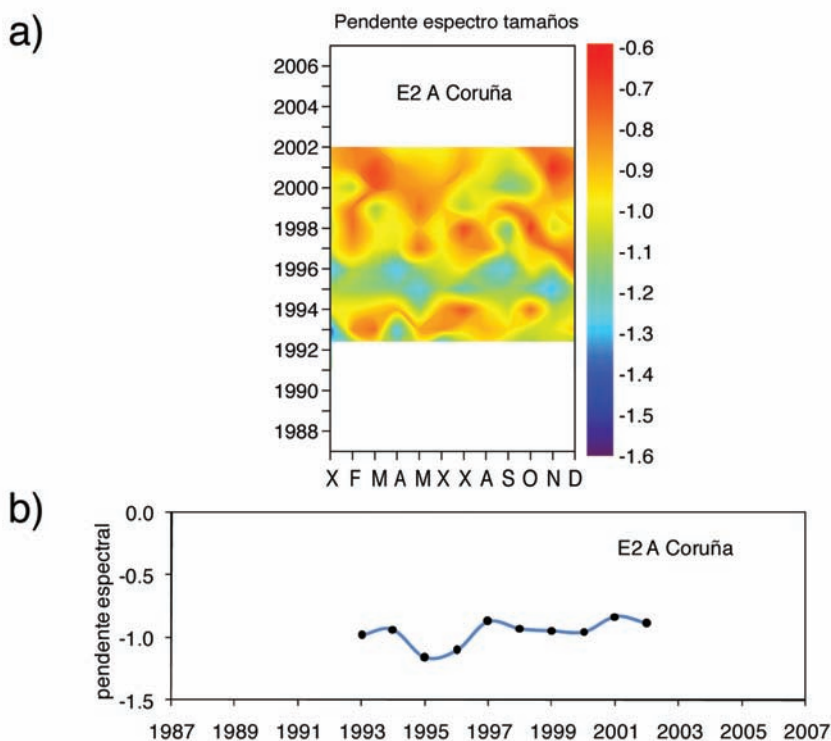
Variables fitoplanctónicas e índices climatolóxicos

Despois de suprimir as compoñentes de tendencia, periódicas e de autocorrelación, as correlacións cruzadas entre os índices ambientais e as variables do fitoplancto no océano non foran significati-



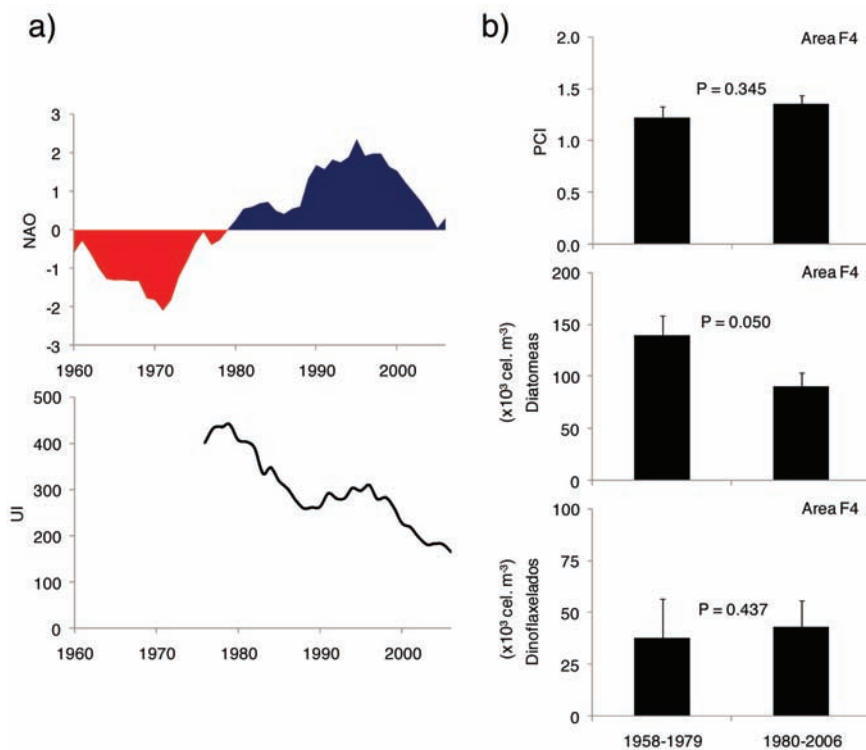
vas, malia que estas son as series máis longas. Pola contra, atopáronse correlacións significativas entre o índice NAO e de afloramento do verán e diversas variables da serie costeira, agás que con retardos de varios anos e con signo negativo (táboa 2). Dunha banda, os valores medios anuais da clorofila e a abundancia de dinoflaxelados diminúen significativamente co índice NAO observado cinco anos antes. Parece que os valores negativos do índice NAO (invernos máis fríos, maior capa de mestura, capítulo 2) favorecerían a magnitude das proliferacións de fitoplancto. Máis difícil de explicar é a relación negativa entre o índice NAO e os dinoflaxelados, xa que estas especies se desenvolven mellor nas augas estratificadas. Non obstante, nun estudo do fitoplancto do programa CPR en zonas boreais do Atlántico notouse un incremento similar da biomasa de fitoplancto e dos dinoflaxelados, pois o quentamento das normalmente frías augas provocou un aumento na estratificación que favoreceu as proliferacións destas especies (Leterme e cols., 2005). Por outra banda, no caso do índice de afloramento, a correlación coa clorofila na costa da Coruña é tamén negativa, agás que cun retardo de só 1 a 2 anos (táboa 2). En principio este resultado non parece corresponderse coa hipótese de que o afloramento é a principal causa da elevada produtividade do fitoplancto na costa galega. Porén, hai que sinalar que o principal efecto do afloramento sobre o fitoplancto se manifesta a altas frecuencias (días, semanas), mentres que o efecto a longo prazo é máis difícil de precisar, como foi observado noutros estudos en Galicia (Nogueira e cols., 1997) e noutras zonas de afloramento (Gregg e cols., 2005). En contraste, comparando as series de clorofila na costa desde a década de 1990, Valdés e cols. (2007) observaron unha clara diminución da biomasa de fitoplancto no mar Cantábrico que foi atribuída a unha intensificación significativa da estratificación superficial, que non se dá en Galicia debido a que o afloramento aínda ten intensidade suficiente.

Figura 6. Variabilidade da pendente do espectro de tamaños-abundancia do fitoplancto na costa da Coruña a escala estacional (a) e nos valores medios anuais (b). A significación da tendencia interanual dáse na táboa 1.



A pesar de que non se pode descartar unha correlación espuria entre as variables, é interesante notar que o longo período de retardo necesario para a correlación implica que as consecuencias dun cambio climático se poden manifestar moito despois na comunidade planctónica. Existen exemplos de ciclos de longo período relacionados coa dinámica solar no fitoplancto mariño (Russell e cols., 1971) e tamén no lacustre (Bondarenko e Evstayev, 2006). No caso de Galicia, unha análise dos valores mediados cada 10 anos no índice NAO revela que existe unha clara discontinuidade arredor do ano 1980, na que o índice pasa de ter valores medios negativos a positivos (figura 7a). Tamén o índice de afloramento mostra unha clara tendencia decrecente desde entón, agás unha lixeira recuperación na primeira metade da década de 1990. Os valores medios da serie máis longa, a oceánica, nos períodos anterior e posterior á discontinuidade de 1980 non resultaron significativos no caso da biomasa (cor do fitoplancto) nin no dos dinoflaxelados; emporiso, as diatomeas son significativamente menos abundantes nos últimos 20 anos (figura 7b), como xa indicara a tendencia xeral (figura 4, táboa 1).

Figura 7. Variabilidade do índice NAO e do índice de afloramento (UI) mediados cada 10 anos (a) e valores medios (+ erro estándar) da cor do fitoplancto (PCI), abundancia de diatomeas e mais de dinoflaxelados na área F4 antes e despois de 1980 (b). A significación das diferenzas entre os valores medios dáse en cada un dos paneis b.



De calquera xeito, outros estudos da variabilidade interanual do fitoplancto no Atlántico conclúen que os cambios nas diferentes rexións non mostran unha relación simple co clima ou co quentamento das augas superficiais (Dickson e cols., 1988; Beaugrand e cols., 2000; Leterme e cols., 2005; Ueyama e Monger, 2005). A costa galega é unha zona fronteira cunha topoloxía complexa e unha dinámica oceanográfica intensa, particularmente a alta frecuencia (capítulo 3). Isto sen dúbida é a causa da alta variabilidade interanual que pode enmascarar calquera posible efecto da variación ambiental sobre o fitoplancto, sobre todo se este é de escasa entidade, como ata agora.

Táboa 2. Tendencias lineais significativas entre os índices ambientais (X, variables independentes) e as variables do fitoplancto (Y, variables dependentes) a diferentes retardos (en anos) e períodos. a: intercepción na orixe, b: tendencia, r^2 : coeficiente de determinación, P: significación. Antes de seren correlacionadas as variables, elimináronse as tendencias e mais as compoñentes periódicas e de autocorrelación. Nomes de variables explicados na táboa 1.

Período	X	Y	Zona	Retardo	r^2	a	b	P
1989-2005	NAO	CLA	E2	+5	0.412	-6.338	-19.673	0.024
	NAO	DINO	E2	+5	0.596	322.570	-373.800	0.002
1990-2006	UI	CLA	E2	+1	0.279	1.945	-0.224	0.036
	UI	CLA	E2	+2	0.258	2.396	-0.215	0.053

CONCLUSIÓN

Nos últimos 40 anos obsérvase unha diminución significativa das abundancias de diatomeas (especies indicadoras de augas frías e alta produción). Non obstante, o incremento dos dinoflaxelados (indicadores de augas quentes, estratificadas e con baixa produción) non é estatisticamente significativo. A maior parte das especies dun ou doutro grupo non presentan tendencias claras.

Malia que as variables ambientais examinadas noutros estudos deste informe presentan variacións claras ao longo das series analizadas (incremento de temperatura ou diminución da intensidade do afloramento), non parece que se alcanzasen aínda os valores mínimos para afectar de forma clara ao fitoplancto da zona. A alta variabilidade interanual nesta rexión do Atlántico enmascara calquera posible efecto dun cambio ambiental, aínda que si parece haber unha diminución de especies de diatomeas propias de períodos altamente produtivos e un incremento daquelas especies indicadoras de estratificación ou afloramentos febles, asociadas a períodos de baixa produción, particularmente desde 1980, cando o índice NAO indica un cambio claro nas condicións climáticas.

Non todos os cambios observados parecen estar relacionados con variacións do afloramento. A diminución de especies propias da primavera parece indicar que a floración primaveral se ve tamén alterada debido a cambios ambientais que poden ter efecto sobre o fitoplancto ata varios anos despois de se produciren. A pesar de existir información sobre o fitoplancto galego desde a década de 1960, a falta de continuidade das series dificulta a interpretación dos efectos dos cambios ambientais a escalas temporais longas, o que aconsella seguir con estes estudos no futuro próximo.

AGRADECEMENTOS

O noso agradecemento ao Programa RADIALES do IEO polos datos proporcionados na zona da plataforma e costa da Coruña e Vigo. O IIM de Vigo (CSIC) proporcionou os datos de clorofila da ría de Vigo. O SAHFOS subministrou os datos do Programa CPR. Un agradecido recordo a todos aqueles mariñeiros do BIO Lura do IEO que fixeron posible a mostraxe durante tantos anos na plataforma da Coruña dentro do Programa RADIALES. A versión final do capítulo foi mellorada grazas os comentarios e suxestións dun revisor anónimo. Esta análise das tendencias do fitoplancto en Galicia foi financiada parcialmente pola Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible (Programa CLIGAL) e polo proxecto REFORZA (PGIDT06RMA60401PR) da Consellería de Innovación e Industria da Xunta de Galicia.

O traballo de María Huete-Ortega estivo financiado polo Programa Predoutoral de Formación de Profesorado Universitario do Ministerio de Educación y Ciencia”.

BIBLIOGRAFÍA

- Beaugrand G., Ibáñez F. and Reid P.C. (2000). Spatial, seasonal and long-term fluctuations of plankton in relation to hydroclimatic features in the English Channel, Celtic Sea and Bay of Biscay. *Marine Ecology Progress Series*, **200**, 93-102.
- Bode A., Casas B. and Varela, M. (1994). Size-fractionated primary productivity and biomass in the Galician shelf (NW Spain): Netplankton versus nanoplankton dominance. *Scientia Marina*, **58**, 131-141.
- Bode A., Casas B., Fernández E., Marañón E., Serret P. and Varela M. (1996) Variability of phytoplankton biomass and primary productivity in the shelf waters of the upwelling area of N-NW Spain. *Hydrobiologia*, **341**, 225-234.
- Bode A., Varela M. e Álvarez-Ossorio M. T. (2007). O ecosistema pelágico. En: A. Cordero e R. Barreiro (ed.), *Ecoloxía. Proxecto Galicia*. Hércules de Ediciones, A Coruña, pp. 513-533.
- Bondarenko N. A. and Evstafyev V. K. (2006). Eleven- and ten-year basic cycles of Lake Baikal spring phytoplankton conformed to solar activity cycles. *Hydrobiologia*, **568**(SUP1), 19-24.
- Casas B., Varela M., Canle M., González N. and Bode A. (1997). Seasonal variations of nutrients, seston and phytoplankton, and upwelling intensity off La Coruña (NW Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **44**, 767-778.
- Cermeño P., Marañón E., Rodríguez J. and Fernández E. (2005). Size dependence of coastal phytoplankton photosynthesis under vertical mixing conditions. *Journal of Plankton Research*, **27**, 473-483.
- Dickson R. R., Kelly P. M., Colebrook J. M., Wooster W. S. and Cushing D. H. (1988). North winds and production in the eastern North Atlantic. *Journal of Plankton Research*, **10**, 151-169.
- Figueiras F. G. and Niell F. X. (1987). Distribución estacional y espacial del fitoplancton en la ría de Pontevedra (NO de España). *Investigación Pesquera*, **51**, 293-320.
- Fraga F. (1981). Upwelling off the Galician Coast, Northwest Spain. In: Richards, F. A. (ed.) *Coastal Upwelling*. American Geophysical Union, Washington DC, pp. 176-182.
- Graham L. E. and Wilcox L. W. (2000). *Algae*, Vol. Prentice-Hall Inc., Upper Saddle River. 640 pp.
- Gregg W. W., Casey N. W. and McClain C. R. (2005). Recent trends in global ocean chlorophyll. *Geophysical Research Letters*, **32**(L030606), doi:10.1029/2004GL021808.
- Holligan P. M. (1987). The physical environment of exceptional phytoplankton blooms in the Northeast Atlantic. *Rapport et Process-verbaux Réunion du Conseil international d'Exploration de la Mer*, **187**, 9-18.
- Hurrell J.W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, **169**, 676-679.
- Lavín A., Díaz del Río G., Cabanas J. M., Casas G. (1991). Afloramiento en el Noroeste de la Península Ibérica. Índices de afloramiento para el punto 43° N 11° W. *Informes Técnicos del Instituto Español de Oceanografía*, **91**, 1-39.



- Leterme S. C., Edwards M., Seuront L., Attrill M. J., Reid P. C. and John A. W. G. (2005). Decadal basin-scale changes in diatoms, dinoflagellates, and phytoplankton color across the North Atlantic. *Limnology and Oceanography*, **50**, 1244-1253.
- Nogueira E., Pérez F. F. and Ríos A. F. (1997). Seasonal patterns and long-term trends in an estuarine upwelling ecosystem (Ría de Vigo, NW Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **44**, 285-300.
- Prego R., Barciela M. C. and Varela M. (1999). Nutrient dynamics in the Galician coastal area (Northwestern Iberian Peninsula): do the Rías Baixas receive more nutrient salts than the Rías Baixas? *Continental Shelf Research*, **19**, 317-334.
- Richardson A. J., Walne A. W., John A. W. G., Jonas T. D., Lindley J. A., Sims D. W., Stevens D. and Witt M. (2006). Using continuous plankton recorder data. *Progress in Oceanography*, **68**, 27-74.
- Russell F. S., Southward A. J., Boalch G. T. and Butler E. I. (1971). Changes in biological conditions in the English Channel off Plymouth during the last half century. *Nature*, **234**, 468-470.
- Ueyama R. and Monger B. C. (2005). Wind-induced modulation of seasonal phytoplankton blooms in the North Atlantic derived from satellite observations. *Limnology and Oceanography*, **50**, 1820-1829.
- Valdés L., López-Urrutia A., Cabal J., Álvarez-Ossorio M., Bode A., Miranda A., Cabanas M., Huskin I., Anadón R., Álvarez-Marqués F., Llope M. and Rodríguez N. (2007). A decade of sampling in the Bay of Biscay: What are the zooplankton time series telling us? *Progress in Oceanography*, **74**, 98-114.
- Varela M., Prego R., Belzunce M. J. and Martín-Salas F. (2001). Inshore-offshore differences in seasonal variations of phytoplankton assemblages: the case of a Galician Ría Alta (A Coruña Ría) and its adjacent shelf (NW Spain). *Continental Shelf Research*, **21**, 1815-1838.
- Varela M., Prego R., Pazos Y. and Moroño A. (2005). Influence of upwelling and river runoff interaction on phytoplankton assemblages in a Middle Galician Ría and comparison with northern and southern rías (NW Iberian Peninsula). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **64**, 721-737.

